

С.А. СОЛОВЬЕВ¹, Л.А. СУШЕВ¹, А.А. КОЧКИН¹, А.А. СОЛОВЬЕВА¹

¹ФГБОУ ВО «Вологодский государственный университет», г. Вологда, Россия

ПРОБЛЕМА АНАЛИЗА НАДЕЖНОСТИ СВАЙ НА ВЕЧНОМЕРЗЛЫХ ГРУНТАХ ПО КРИТЕРИЮ УСТОЙЧИВОСТИ

Аннотация. Рост темпов глобального потепления напрямую влияет на безопасность зданий и сооружений на вечномерзлых грунтах. В исследовании рассматривается проблема анализа надежности свай на вечномерзлых грунтах по критерию устойчивости при действии касательных сил морозного пучения. Разработано две группы методов оценки надежности свай: при полной и ограниченной статистической информации о случайных величинах в математических моделях предельных состояний. Предложены аппроксимации зависимостей расчетных сопротивлений многолетнемерзлых грунтов сдвигу по поверхности смерзания от температуры, которые могут быть использованы при оценке силы смерзания, удерживающей сваю от вытучивания. Разработана методика контроля надежности и прогноза долговечности свай на вечномерзлых грунтах, позволяющая обоснованно сократить затраты на мероприятия по оценке надежности в начальные периоды эксплуатации, что может позволить увеличить количество обследуемых зданий и сооружений при аналогичных затратах на обследование технического состояния.

Ключевые слова: надежность, свая, вечная мерзлота, устойчивость, деформация, вероятность отказа, глобальное потепление.

S.A. SOLOVEV¹, L.A. SUSHEV¹, A.A. KOCHKIN¹, A.A. SOLOVEVA¹

¹Vologda State University, Vologda, Russia

A PROBLEM OF PILES STRUCTURAL RELIABILITY ANALYSIS ON THE STABILITY CRITERION IN PERMAFROST REGIONS

Abstract. The increase in the rate of global warming directly affects the safety of buildings and structures on permafrost. The research presents the problem of reliability analysis for piles on permafrost soils by the stability criterion under the action of tangential forces of frost heaving. The two groups of piles reliability analysis methods are developed: for complete and limited statistical data about random variables in the models of limit states. Approximations of the dependences of the design resistances of permafrost soils to the shear along the freezing surface on the temperature are proposed. It can be used to estimate the freezing force that keeps the pile from buckling. The method for reliability monitoring and durability forecasting has been developed for piles on permafrost soils. The proposed method makes it possible to reasonably reduce the cost of reliability analysis in the initial periods, which can increase the number of buildings and structures being inspected by the similar costs.

Keywords: reliability, pile, permafrost, stability, deformation, failure probability, global warming.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хрусталева Л.Н., Давыдова И.В. Прогноз потепления климата и его учет при оценке надежности оснований зданий на вечномерзлых грунтах // Криосфера Земли. 2007. № 2. С. 68–75.
2. Wu Q., Zhang T. Changes in active layer thickness over the Qinghai-Tibetan Plateau from 1995 to 2007 // Journal of Geophysical Research: Atmospheres. 2010. Vol. 115. Pp. 1-12.

3. Анисимов О.А., Белолуцкая М.А. Оценка влияния изменения климата и деградации вечной мерзлоты на инфраструктуру в северных регионах России // *Метеорология и гидрология*. 2002. № 6. С. 15–22.
4. Анисимов О.А., Лавров С.А. Глобальное потепление и таяние вечной мерзлоты: оценка рисков для производственных объектов ТЭК // *Технологии ТЭК*. 2004. №3. С. 78–83.
5. Streletskiy D., Anisimov O., Vasiliev A. Permafrost degradation // *Snow and ice-related hazards, risks and disasters*. Academic Press. 2015. Pp. 303-344.
6. Malkova G.V. Mean-annual ground temperature monitoring on the steady-state-station “Bolvansky” // *Earth's Cryosphere*. 2010. Vol. 14. No. 3. Pp. 3-14.
7. Oberman N.G. Contemporary permafrost degradation of the European north of Russia // *Proceedings of the Ninth International Conference on Permafrost*, June 29-July 3. 2008. Pp. 1305-1310.
8. Larsen P.H., Goldsmith S., Smith O., Wilson M.L., Strzepak K., Chinowsky P., Saylor B. Estimating future costs for Alaska public infrastructure at risk from climate change // *Global Environmental Change*. 2008. Vol. 18(3). Pp. 442-457.
9. Streletskiy D.A., Shiklomanov N.I., Hatleberg E. Infrastructure and a changing climate in the Russian Arctic: a geographic impact assessment // *Proceedings of the 10th International Conference on Permafrost*. 2012. Vol. 1. Pp. 407-412.
10. Стрелецкий Д.А., Шикломанов Н.И., Гребенец В.И. Изменение несущей способности мерзлых грунтов в связи с потеплением климата на Севере Западной Сибири // *Криосфера Земли*. 2012. Т. 16. № 1. С. 22-32.
11. Connon R., Devoie E., Hayashi M., Veness T., Quinton W. The influence of shallow taliks on permafrost thaw and active layer dynamics in subarctic Canada // *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*. 2018. Vol. 123(2). Pp. 281-297.
12. Akerman H.J., Johansson M. Thawing permafrost and thicker active layers in sub-arctic Sweden // *Permafrost and periglacial processes*. 2008. Vol. 19. No. 3. Pp. 279-292.
13. Золина Т.В., Садчиков П.Н. Моделирование снеговой нагрузки на покрытие промышленного здания // *Вестник МГСУ*. 2016. № 8. С. 25–33.
14. Соловьева А. А., Соловьев С.А. Метод оценки надежности элементов плоских ферм на основе р-блоков // *Вестник МГСУ*. 2021. Т. 16. № 2. С. 153–167.
15. Jahani E., Shayanfar M.A., Barkhordari M.A. A new adaptive importance sampling Monte Carlo method for structural reliability // *KSCE Journal of Civil Engineering*. 2013. Vol. 17. No. 1. Pp. 210-215.
16. Юделевич А.М. Системный подход к оценке надежности бетонных плотин // *Известия Всероссийского научно-исследовательского института гидротехники им. Б.Е. Веденеева*. 2017. Т. 284. С. 82–88.
17. Уткин В.С., Уткин Л.В. Определение надежности строительных конструкций. Вологда: Вологодский государственный технический университет, 2000. 166 с.
18. Zhang J., Du X. A second-order reliability method with first-order efficiency // *Journal of Mechanical Design*. 2010. Vol. 132. No. 10. Pp. 101006.
19. Melchers R.E., Beck A.T. *Structural reliability analysis and prediction*. John Wiley & Sons, 2018. 528 p.
20. Zadeh L.A. Fuzzy sets // *Information and control*. 1965. Vol. 8. Pp. 338–353.
21. Соловьев С.А. Вероятностная оценка промышленной безопасности при неполной статистической информации // *Безопасность труда в промышленности*. 2020. № 9. С. 88–93.

REFERENCES

1. Hrustalev L.N., Davydova I.V. Prognoz potepeniya klimata i ego uchet pri ocenke nadezhnosti osnovanij zdaniy na vechnomerzlyh gruntah [Forecast of climate warming and account of it at estimation of foundation reliability for buildings in permafrost zone]. *Kriosfera Zemli*. 2007. No. 2. Pp. 68–75. (rus)
2. Wu Q., Zhang T. Changes in active layer thickness over the Qinghai-Tibetan Plateau from 1995 to 2007. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 2010. Vol. 115. Pp. 1-12.
3. Anisimov O.A., Beloluckaya M.A. Ocenka vliyaniya izmeneniya klimata i degradacii vechnoj merzloty na infrastrukturu v severnyh regionah Rossii [Evaluation of the effect of climate change and permafrost degradation on infrastructure in the northern regions of Russia]. *Meteorologiya i gidrologiya*. 2002. No. 6. Pp. 15–22. (rus)
4. Anisimov O.A., Lavrov S.A. Global'noe poteplenie i tayanie vechnoj merzloty: ocenka riskov dlya proizvodstvennykh ob"ektov TEK [Global warming and thawing of permafrost: risk assessment for production facilities of the fuel and energy complex]. *Tekhnologii TEK*. 2004. No. 3. Pp. 78–83. (rus)
5. Streletskiy D., Anisimov O., Vasiliev A. Permafrost degradation. *Snow and ice-related hazards, risks and disasters*. Academic Press. 2015. Pp. 303-344.
6. Malkova G.V. Mean-annual ground temperature monitoring on the steady-state-station “Bolvansky”. *Earth's Cryosphere*. 2010. Vol. 14. No. 3. Pp. 3-14.
7. Oberman N.G. Contemporary permafrost degradation of the European north of Russia. *Proceedings of the Ninth International Conference on Permafrost*, June 29-July 3. 2008. Pp. 1305-1310.

8. Larsen P.H., Goldsmith S., Smith O., Wilson M.L., Strzepek K., Chinowsky P., Saylor B. Estimating future costs for Alaska public infrastructure at risk from climate change. *Global Environmental Change*. 2008. Vol. 18(3). Pp. 442-457.
9. Streletskiy D.A., Shiklomanov N.I., Hatleberg E. Infrastructure and a changing climate in the Russian Arctic: a geographic impact assessment. *Proceedings of the 10th International Conference on Permafrost*. 2012. Vol. 1. Pp. 407-412.
10. Streleckij D.A., SHiklomanov N.I., Grebenec V.I. Izmenenie nesushchej sposobnosti merzlyh gruntov v svyazi s potepieniem klimata na Severe Zapadnoj Sibiri [Changes of foundation bearing capacity due to climate warming in northwest siberia]. *Kriosfera Zemli*. 2012. Vol. 16. No. 1. Pp. 22-32. (rus)
11. Cannon R., Devoie E., Hayashi M., Veness T., Quinton W. The influence of shallow taliks on permafrost thaw and active layer dynamics in subarctic Canada. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*. 2018. Vol. 123(2). Pp. 281-297. (rus)
12. Akerman H.J., Johansson M. Thawing permafrost and thicker active layers in sub-arctic Sweden. *Permafrost and periglacial processes*. 2008. Vol. 19. No. 3. Pp. 279-292.
13. Zolina T.V., Sadchikov P.N. Modelirovanie snegovoj nagruzki na pokrytie promyshlennogo zdaniya [Modeling of the snow load on the roofs of industrial buildings]. *Vestnik MGSU*. 2016. No. 8. Pp. 25–33. (rus)
14. Solov'eva A.A., Solov'ev S.A. Metod ocenki nadezhnosti elementov ploskih ferm na osnove p-blokov [Reliability analysis of steel planar trusses based on p-box models]. *Vestnik MGSU*. 2021. Vol. 16. No. 2. Pp. 153–167. (rus)
15. Jahani E., Shayanfar M.A., Barkhordari M.A. A new adaptive importance sampling Monte Carlo method for structural reliability. *KSCE Journal of Civil Engineering*. 2013. Vol. 17. No. 1. Pp. 210-215.
16. YUdelevich A.M. Sistemnyj podhod k ocenke nadezhnosti betonnyh plotin [System approach to assessment of concrete dams reliability]. *Izvestiya Vserossijskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta gidrotekhniki im. B.E. Vedeneeva*. 2017. Vol. 284. Pp. 82–88. (rus)
17. Utkin V.S., Utkin L.V. *Opreделение nadezhnosti stroitel'nyh konstrukcij* [Calculation of structural reliability]. Vologda: Vologodskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet, 2000. 166 p. (rus)
18. Zhang J., Du X. A second-order reliability method with first-order efficiency. *Journal of Mechanical Design*. 2010. Vol. 132. No. 10. Pp. 101006
19. Melchers R.E., Beck A.T. *Structural reliability analysis and prediction*. John Wiley & Sons, 2018. 528 p.
20. Zadeh L.A. Fuzzy sets. *Information and control*. 1965. Vol. 8. Pp. 338–353.
21. Solovyev S.A. Veroyatnostnaya ocenka promyshlennoj bezopasnosti pri nepolnoj statisticheskoj informacii [Probabilistic estimation of industrial safety with incomplete statistic data]. *Bezopasnost' truda v promyshlennosti*. 2020. No. 9. Pp. 88–93. (rus)

Информация об авторах:

Соловьев Сергей Александрович

ФГБОУ ВО «Вологодский государственный университет» (ВоГУ), г. Вологда, Россия, кандидат технических наук, доцент кафедры промышленного и гражданского строительства.
E-mail: solovevsa@vogu35.ru

Сушев Леонид Андреевич

ФГБОУ ВО «Вологодский государственный университет» (ВоГУ), г. Вологда, Россия, аспирант кафедры промышленного и гражданского строительства.
E-mail: sushevla@vogu35.ru

Кочкин Александр Александрович

ФГБОУ ВО «Вологодский государственный университет» (ВоГУ), г. Вологда, Россия, доктор технических наук, зав. кафедрой промышленного и гражданского строительства.
E-mail: kochkinaa@vogu35.ru

Соловьева Анастасия Андреевна

ФГБОУ ВО «Вологодский государственный университет» (ВоГУ), г. Вологда, Россия, аспирант, ассистент кафедры промышленного и гражданского строительства.
E-mail: solovevaaa@vogu35.ru

Information about the authors:

Solovyev Sergey Al.

Vologda State University, Vologda, Russia,
candidate of tech, sciences, associate professor of the industrial and civil construction department.
E-mail: solovevsa@vogu35.ru

Sushev Leonid An.

Vologda State University, Vologda, Russia,
post-graduate student of the industrial and civil construction department.
E-mail: sushevla@vogu35.ru

Kochkin Alexander Al.

Vologda State University, Vologda, Russia,
doctor of tech, sciences, head of the industrial and civil construction department.
E-mail: kochkinaa@vogu35.ru

Soloveva Anastasia An.

Vologda State University, Vologda, Russia,
post-graduate student, assistant of the industrial and civil construction department.
E-mail: solovevaaa@vogu35.ru